

論文審査の結果の要旨

氏名 関口繁之

宇宙マイクロ波背景放射の B モード偏光の検出や、ダストに覆われた爆発的星生成銀河（サブミリ波銀河）の統計的研究など、ミリ波サブミリ波帯において広域観測を行うことの重要性が高まってきている。本論文は、こうした要請に応えるため、マイクロ波力学的インダクタンス検出器（Microwave Kinetic Inductance Detector、以下 MKID）を使った広視野・広帯域観測のための要素技術、特に冷却光学系と広帯域給電系（フィードホーン）の研究を行い、その成果をまとめたものである。

本論文は 5 章からなる。第 1 章は序論であり、インフレーション理論検証を目的とした宇宙マイクロ波背景放射の偏光観測の重要性、また、銀河の形成進化を理解する上で、サブミリ波銀河探査の意義について述べた上、ミリ波サブミリ波帯における広域観測を実現するための要素技術について、その現状を概観している。B モード偏光やサブミリ波銀河の研究を行う上で、観測領域の広さに加え、幅広い周波数域でデータを取得することが重要であること、したがって、一つのフィードホーンで、幅広い周波数域の観測ができるようにすることも、限られた焦点面内に多数のフィードホーンを配置し広視野の観測装置を実現する上で重要な研究課題であることが指摘されている。

第 2 章では、本研究で扱う超伝導センサー MKID の概要を示している。MKID の動作原理や構造を詳述した上で、その性能を特徴付ける物理量やその測定方法について記述している。

第 3 章は、広視野ミリ波サブミリ波観測を実現するための冷却光学系を設計・開発した成果について、詳しく記述している。既存のミリ波サブミリ波観測装置では、光学系に冷却反射鏡を用いているため、装置が大型化しており、さらに視野を広げるための拡張性に乏しい。本研究では、この現状を打破するため、高誘電率・低損失のレンズを使った屈折光学系を新たに導入することにより、コンパクトな設計を実現し、かつ、モジュール化して拡張性の高い冷却光学系とすることを提唱している。具体的には、220 GHz 帯での観測を想定し、この波長帯で屈折率が高く損失も低いシリコンとアルミナをレンズとして用いる設計を行った。極低温（150 mK 以下）で動作させる MKID と組み合わせて使用する光学系であることを念頭に、適切な赤外カットフィルターを導入すると共に、レンズやフィルターに反射防止構造を配することで、観測周波数帯での高い

透過率 (0.78) と、赤外線域での高いエネルギー流入阻止率 (6 THz 以上で 10^{-10} 以下) を両立させる設計を得た。さらに、視野外からの迷光を抑えるための反射型冷却バツフルの設計・製作を行い、迷光を 1/4 まで低減できることを示した。こうした設計を踏まえた試作を行い、実際に本システムが 100 mK まで冷却できることを示した上、具体的な応用例として、口径 10 m の南極サブミリ波望遠鏡の焦点面に、モジュール化した本光学系を 7 つ配置することで、視野 1 度の広視野光学系を実現できること、及び雑音を大気放射雑音限界に近づける見通しについて明らかにした。

第 4 章では、もう一つの要素技術として、コルゲート・ホーンの周波数帯域を広げ、かつ、多数配置しアレイ化するための研究結果をまとめている。コルゲート・ホーンは、数あるフィードホーンの種類の中でも、ビーム対称性やサイドローブ特性、交差偏波特性に優れているが、現状では、比帯域が 1:1.4 程度に留まっていることが課題となっている。本研究では、機械加工の実現性・容易性を考慮しつつ、80 GHz から 180 GHz という 1 オクターブを超えた周波数範囲 (比帯域 1:2.25) を達成する設計に成功した。4 素子アレイを製作し、実験室で評価を行った結果、対称性が良く、交差偏波レベル・サイドローブレベルともに科学観測の使用に充分耐える水準 (-20 dB および -30 dB) を達成していることを示し、さらに冷却した MKID と組み合わせて動作させ、実験室実証を行うことにも成功した。

第 5 章はまとめである。

以上、本論文は、より視野の広いミリ波サブミリ波帯観測を実現する上で鍵となる、広視野冷却光学系および広帯域フィードホーン的设计・開発を行い、前者については、屈折光学系の導入という着想により、モジュール化可能な冷却光学系的设计と実証実験に、また、後者については、既存の研究と比較して、最も比帯域の大きいコルゲート・ホーン的设计およびアレイ化したホーンの実証実験に、それぞれ成功したものである。ALMA と相補的な、新しいパラメーター・スペースを今後切り拓いていく上で、鍵となる要素技術の突破口を具体的に示した成果として、高い意義が認められる。

なお、本論文は、関本裕太郎、成瀬雅人、野口卓、松尾宏、杉本正宏、Shu Shibo ら (他 9 名) との共同研究であるが、論文提出者が主体となって開発・実験及び論証を行ったもので、論文提出者の寄与が充分であると判断する。したがって、博士 (理学) の学位を授与できると認める。